

Радиостроение

Научно-практический журнал

<http://www.radiovega.su>

Ссылка на статью:

// Радиостроение. 2018. № 03. С. 1–16

DOI: **10.24108/rdeng.0318.0000141**

Представлена в редакцию: 11.04.2018

© НП «НЕИКОН»

УДК 621.31

Расчет системы бесконтактной зарядки аккумулятора для интерактивной контактной линзы

Ситников А.В.^{1,*}

^{*}sit_irina@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В представленной работе рассматриваются вопросы расчета параметров системы бесконтактной зарядки микроаккумулятора, входящего в состав электронной схемы микропроцессорной контактной линзы. Контактные линзы с микропроцессорным управлением делают возможным изменять светофильтрующие характеристики линзы, проецировать информацию на экран, расположенный в области зрачка глаза, изменять фокусировку линзы, использовать ее в качестве фотоаппарата. Кроме того, вводя в состав электронной схемы линзы электрохимические датчики, можно по составу слезной жидкости диагностировать ряд болезней, например, диабет. В статье приводятся характеристики выпускаемых типов микропроцессорных контактных линз, предлагается алгоритм расчета зарядного устройства аккумулятора в бесконтактном исполнении. Предложенный алгоритм можно использовать и для разработок бесконтактных зарядных устройств любого назначения.

Ключевые слова: контактная линза, аккумулятор, зарядное устройство, взаимоиנדукция, первичная и вторичная обмотки, магнитная связь

Введение

Развитие микроэлектроники на сегодняшний день достигло такого уровня, что у разработчиков новых устройств появляется возможность создавать изделия, эксплуатация которых возможна в условиях непосредственного контакта с человеческим телом, причем, не причиняя каких-либо неудобств при эксплуатации. К таким устройствам можно отнести автономные микронаушники, микрочипы с датчиками, укрепляемые на коже, многофункциональные микроэлектронные устройства, выполненные в виде браслетов, компьютеризированные очки и контактные линзы.

Главным требованием, предъявляемым к таким устройствам, является максимально возможное время работы в автономном режиме. К аккумуляторным батареям, как к автономным источникам питания, предъявляют следующие требования: большая энергоемкость, высокая нагрузочная способность и сверхмалые габариты [1]. Зарядные устройства к миниатюрным аккумуляторным батареям, устанавливаемым, например, в интерактив-

ные контактные линзы, должны обладать дополнительными возможностями по сравнению со стандартными зарядными устройствами [2]. К таким дополнительным возможностям можно отнести: бесконтактный способ зарядки, особые условия эксплуатации, связанные с хранением линз в ночное время в емкости со специальной жидкостью, ограничение по использованию дополнительных элементов в конструкции, предназначенных для приема энергии от зарядного устройства.

В данной статье описана блок-схема электронной системы контактных линз с микропроцессорным управлением, представлена конструкция линзы, предложен алгоритм, расчета воздушного трансформатора бесконтактного зарядного устройства.

Принцип работы интерактивной контактной линзы

Контактные линзы, т.е. оптические устройства, закрепляемые непосредственно на глазном яблоке, выполняются либо из твердых полимерных материалов, либо из мягких пластиков на основе гидрогеля и силикон-гидрогеля. Основной целью использования контактных линз является коррекция зрения, однако последнее время наметилась тенденция использования этих устройств в терапевтических, косметических и диагностических целях.

Основными достоинствами контактных линз являются: миниатюрность, что существенно снижает ощущения присутствия инородного тела на лице в процессе ношения, отсутствие ограничения поля видимости и контакт с поверхностью глаза, что дает дополнительные возможности в области диагностики и терапии.

Восемьдесят процентов поверхности контактной линзы не участвует в коррекции оптической системы глаза, т.к. располагается над радужной оболочкой. Именно такая избыточность в конструкции позволяет использовать линзу для изменения цвета глаз (косметические функции), для введения лекарственных препаратов в область слизистой оболочки глаза (терапия) и для установки датчиков измерения функций организма (диагностика).

Идея применения контактных линз для коррекции зрения и терапии некоторых глазных болезней [3, 4] возникла несколько десятилетий назад. Для введения лекарственных препаратов в область слизистой оболочки глаза мягкие контактные линзы делают пористыми и пропитывают лекарством. Для диагностических целей в пластиковую структуру контактных линз вводят электрохимические и электромеханические чувствительные элементы – датчики, информация с которых поступает на электронную схему, как правило, управляемой микропроцессором.

Кроме того, электронная система может формировать изображение на экран, установленный в области зрачка глаза (линзы). Это открывает новые возможности для передачи информации от процессорных систем различного назначения в мозг человека посредством визуальных образов.

Естественно, эта электронная система должна работать автономно. Поэтому было предложено для управления электронной системой контактных линз использовать радио-

каналы, например, формата «Bluetooth» [5, 6]. Для питания электронной системы, установленной непосредственно в контактной линзе, используется либо солнечная батарея [7, 8], либо микроаккумулятор. Для обеспечения необходимого уровня питания площадь фоточувствительной пластины солнечной батареи должна быть как можно больше, что приводит к перекрытию, практически, всей площади контактной линзы, которую можно использовать для установки микроэлектронных элементов. В этом случае возникает проблема создания светочувствительной пластины, способной пропускать кислород на слизистую оболочку глаза.

Микроаккумулятор имеет площадь перекрытия в несколько раз меньшую по сравнению с солнечной батареей, однако в этом случае возникает проблема зарядки аккумулятора. Зарядку можно проводить, например, в период, когда контактная линза не используется – во время сна человека. На период сна контактные линзы снимаются и помещаются в специальный раствор [9]. Кроме того, при использовании терапевтических контактных линз, полимер, из которого выполнены линзы, насыщается лекарственными препаратами, именно в ночное время. Раствор, в который помещается линза, как правило, обладает хорошей электропроводностью, поэтому электронная часть, устанавливаемая в контактной линзе, должна быть герметизирована. Все это делает невозможным использовать зарядные устройства для электронной контактной линзы в виде разъема (механического контакта). Следовательно, для зарядки нужно использовать бесконтактное устройство передачи энергии, в основе которой лежит принцип воздушного трансформатора.

Блок-схема электронной части контактной линзы имеет вид, изображенный на рис. 1.

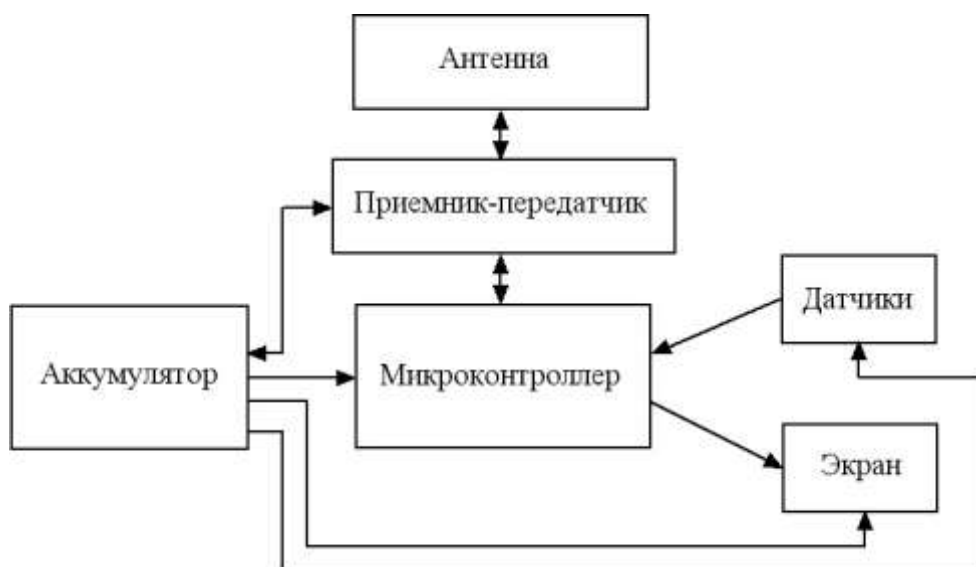


Рис. 1. Блок-схема электронной части контактной линзы

Все элементы электронной схемы контактной линзы, за исключением экрана, располагаются в области, перекрывающей радужную оболочку глаза. Экран располагается в области зрачка (рис. 2).



Рис. 2. Расположение электронных компонентов в контактной линзе.

Связь микропроцессора с электронным внешним устройством осуществляется посредством приемника-передатчика через кольцевую антенну (рис. 2). Внешнее электронное устройство служит для обработки информации, поступающей с датчиков, установленных в контактной линзе, и представления полученной информации человеку. Микропроцессор, установленный в контактной линзе, служит для обработки информации, поступающей от внешнего электронного устройства, для первичной обработки информации, получаемой с датчиков, установленных в контактной линзе, для формирования отображения информации на экран, установленный в области зрачка контактной линзы и для формирования информации для передачи ее на внешнее электронное устройство.

Микропроцессорная электронная начинка контактной линзы может работать и автономно (при отсутствии внешнего электронного устройства), но при этом существенно ограничиваются функциональные возможности системы.

На сегодняшний день технологические возможности микроэкрана для контактных линз сильно ограничены. Графическая информация, получаемая человеком при ношении таких линз, представляет собой лишь несколько десятков пикселей, воспринимаемых, как темные пятна на фоне визуальной картинки. Однако разработки в области повышения разрешающей способности экрана ведутся очень интенсивно и перспективность этого направления разработок не вызывает никакого сомнения.

Использование датчиков, размещаемых в теле контактной линзы, является еще одним приоритетным направлением развития микропроцессорных контактных линз. С помощью таких датчиков можно проводить, например, анализ слезной жидкости на наличие сахара, т.е. диагностировать диабет, можно проводить анализ внутриглазного давления для профилактики развития глаукомы [7]. Многими солидными фирмами ведутся интенсивные разработки в этом направлении.

Однако при создании микропроцессорных контактных линз возникает несколько серьезных проблем, к которым можно отнести сложности при создании газопроницаемых

электронных компонентов, устанавливаемых в тело контактной линзы [10], и обеспечение автономности ее работы в течении длительного времени.

Автономность работы электронного блока контактной линзы может обеспечиваться аккумуляторной батареей, однако отсутствие на сегодняшний день высокоэнергетических миниатюрных источников энергии делает необходимым использования зарядных устройств, которые должны быть функциональны и просты в обращении. Т.к. контактные линзы представляют собой миниатюрное изделие, довольно капризное в эксплуатации, и работающее в электропроводящей среде, применение разъемного соединения микроаккумулятора с зарядным устройством не представляется возможным. Поэтому для зарядки нужно применять бесконтактную систему, в основе которой лежит явление взаимоиндукции двух катушек.

Принцип работы системы зарядки аккумулятора микроэлектронного устройства

Согласно классической теории электродинамики, электрический ток, протекающий по проводнику, создает магнитное поле. Если ток переменный, то и магнитное поле также будет переменным. В катушке индуктивности, витки которой пронизывает переменное магнитное поле, наводится ЭДС (Электро Движущая Сила). Если две катушки индуктивности расположить таким образом, что магнитный поток, создаваемый током в одной катушке (первичная обмотка), будет пронизывать витки другой катушки, то во второй катушке (вторичная обмотка) наведется ЭДС, т.е. на разомкнутых зажимах вторичной обмотки появится напряжение. Если вторичную обмотку нагрузить сопротивлением, то через него потечет ток. Таким образом, катушка индуктивности превращается в источник напряжения [11]. Такое устройство называют воздушным трансформатором.

Явление взаимоиндукции можно проиллюстрировать с помощью следующего рисунка (рис. 3):

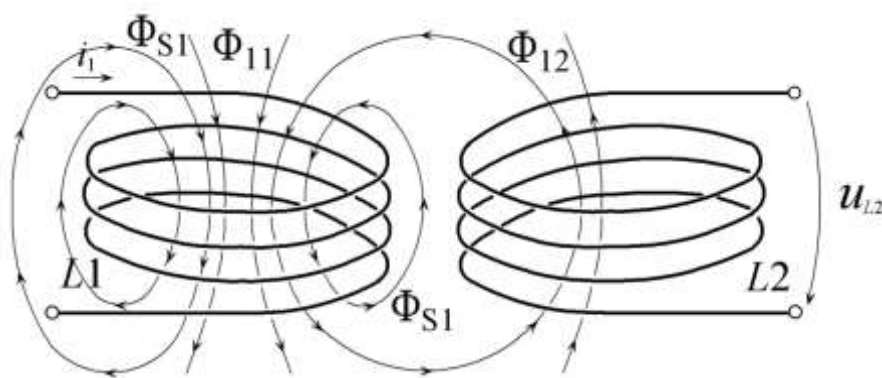


Рис. 3. Взаимоиндуктивно связанные катушки

На рис. 3. обозначено: Φ_{11} – магнитный поток, создаваемый переменным током i_1 , протекающим в первичной обмотке индуктивностью $L1$; Φ_{12} – магнитный поток, пронизывающий витки вторичной обмотки индуктивностью $L2$, в результате чего на вторичной

обмотке $L2$ появляется напряжение u_{L2} ; Φ_{S1} – часть магнитного потока Φ_{11} , не участвующая в процессе передачи энергии от катушки $L1$ к катушке $L2$, т.е. поток рассеяния.

Для магнитного потока Φ_{11} справедливо: $\Phi_{11} = \Phi_{12} + \Phi_{S1}$. Переходя от магнитных потоков к потокоцеплению можно записать: $\psi_{11} = \psi_{12} + \psi_{S1}$. В линейных цепях (воздушный трансформатор, рассматриваемый в данном случае, является линейной электрической системой) потокоцепление пропорционально току: $\psi_{11} = L_1 i_1$ и $\psi_{12} = M_{12} i_1$, где M_{12} – взаимоиנדуктивность или магнитная связь.

Переменный магнитный поток Φ_{12} вызывает появление ЭДС во вторичной обмотке. Величина этой ЭДС определяется формулой $e_{21} = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{di_1}{dt}$.

Если в катушке $L2$ протекает переменный ток i_2 , то возникает переменное магнитное поле Φ_{22} , часть которого будет пронизывать витки первичной обмотки, а часть – замыкаться, минуя катушку $L1$. Т.е. для магнитного потока Φ_{22} можно записать: $\Phi_{22} = \Phi_{21} + \Phi_{S2}$. для потокоцепления $\psi_{22} = \psi_{21} + \psi_{S2}$, $\psi_{21} = M_{21} i_2$. В катушке $L1$ будет наводиться ЭДС от переменного магнитного потока, создаваемого вторичной обмоткой: $e_{12} = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{di_2}{dt}$.

Степень взаимодействия катушек посредством магнитного поля принято оценивать коэффициентом магнитной связи k , который определяется формулой:

$$k = \sqrt{\frac{\Phi_{12}}{\Phi_{11}} \cdot \frac{\Phi_{21}}{\Phi_{22}}} = \sqrt{\frac{M_{12} M_{21}}{L_1 L_2}}.$$

Для линейных цепей $M_{12} = M_{21} = M$, следовательно, $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$, причем, k всегда меньше единицы, т.к. $\frac{\Phi_{12}}{\Phi_{11}} = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_{12} + \Phi_{S1}} < 1$ и $\frac{\Phi_{21}}{\Phi_{22}} = \frac{\Phi_{21}}{\Phi_{21} + \Phi_{S2}} < 1$.

В зависимости от направления токов в обмотках и направления намотки катушек, магнитные потоки Φ_{12} и Φ_{21} внутри катушек могут иметь либо противоположное направление, либо совпадать, как нарисовано на рис. 4.

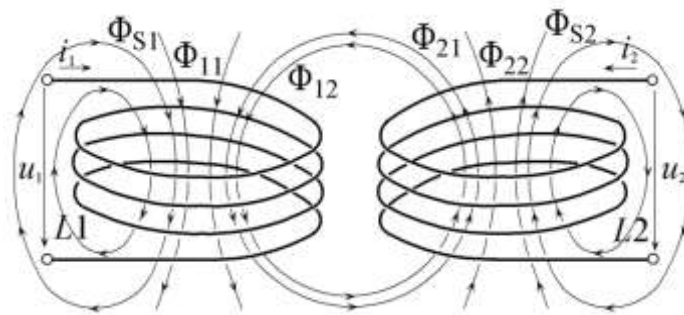


Рис. 4. Магнитные потоки двух катушек с током

Учитывая взаимное влияние катушек, можно записать полное потокоцепление катушек:

$$\psi_{1\text{полн}} = \psi_{11} \pm \psi_{21} = L_1 i_1 \pm M_{21} i_2;$$

$$\psi_{2\text{полн}} = \psi_{22} \pm \psi_{12} = L_2 i_2 \pm M_{12} i_1.$$

Знак в уравнениях потокосцеплений будет зависеть от направления магнитных потоков внутри катушек. Если магнитные потоки Φ_{11} и Φ_{21} внутри катушки L_1 и потоки Φ_{22} и Φ_{12} внутри катушки L_2 сонаправлены, то такие катушки называют включенными соглас-но и знак в уравнении потокосцепления ставится плюс, если потоки направлены навстре-чу, то катушки называют включенными встречно и знак в уравнении – минус.

ЭДС, возникающие в катушках, можно представить, как сумму ЭДС самоиндукции и ЭДС взаимои-ндукции:

$$e_{1\text{полн}} = -\frac{d\psi_{1\text{полн}}}{dt} = -\frac{d\psi_{11}}{dt} \mp \frac{d\psi_{21}}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt} \mp M_{21} \frac{di_2}{dt} = e_{L1} \pm e_{21} = -u_1;$$

$$e_{2\text{полн}} = -\frac{d\psi_{2\text{полн}}}{dt} = -\frac{d\psi_{22}}{dt} \mp \frac{d\psi_{12}}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \mp M_{12} \frac{di_1}{dt} = e_{L2} \pm e_{12} = -u_2,$$

где e_{L1} и e_{L2} – ЭДС самоиндукции катушек L_1 и L_2 соответственно; e_{21} и e_{12} – ЭДС взаи-моиндукции.

При расчете воздушного трансформатора для бесконтактной системы зарядки аккумуля-тора нужно учитывать, что для воздушного трансформатора включение катушек все-гда встречное. Схему воздушного трансформатора с обозначением включения катушек можно изобразить в виде рис. 5.

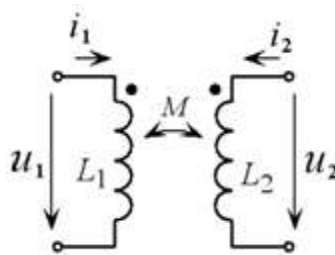


Рис. 5. Обозначение индуктивно связанных катушек воздушного трансформатора

На рис. 5 изображено: L_1, L_2 – первичная и вторичная обмотки соответственно; u_1, u_2 – входное и выходное напряжение трансформатора соответственно. Уравнения для на-пряжений u_1 и u_2 будут иметь вид:

$$u_{L1} = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt};$$

$$u_{L2} = L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}.$$

Для зарядного устройства контактной линзы характерно очень малое число витков вторичной обмотки (см. рис. 2) Чаще всего в качестве последней используется одновитко-вая катушка, которая используется также в качестве антенны для приема и передачи ин-формации с внешнего управляющего электронного устройства на электронику линзы. Та-ким образом, при расчете параметров зарядного устройство необходимо определить коли-чество витков первичной обмотки, действующее значение напряжения, подаваемого на первичную обмотку, а также частоту напряжения на первичной обмотке.

Эти три характеристики являются определяющими для построения принципиальной схемы зарядного устройства, выбора его конструктивных характеристик. Увеличение числа витков катушки первичной обмотки приводит к увеличению объема зарядного устройства, увеличению его стоимости, т.к. операция намотки катушки является трудоемкой и, следовательно, дорогостоящей. Увеличение амплитуды напряжения требует применения элементной базы электронного устройства повышенной мощности, что приводит к увеличению габаритов и стоимости. Увеличение частоты входного воздействия во много раз усложняет конструкцию электронного блока зарядного устройства, требует использование в его составе конвертора. Все вышеперечисленное приводит к необходимости использования в качестве зарядного устройства импульсного источника питания (ИИП) [2]. Блок-схема импульсного источника питания приведена на рис. 6.

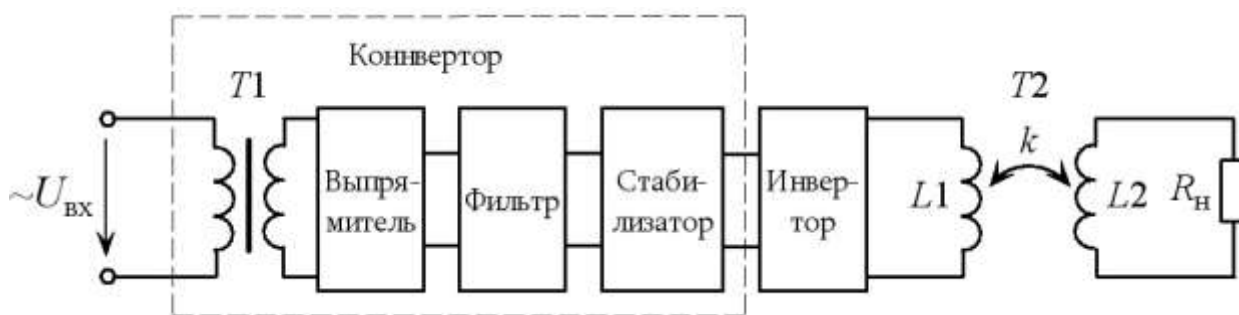


Рис. 6. Блок-схема импульсного источника питания

На схеме рис. 6. обозначено: $\sim U_{\text{ВХ}}$ – напряжение сети ~ 220 В, 50 Гц; $T1$ – трансформатор гальванической развязки; $T2$ – воздушный трансформатор системы передачи энергии на контактную линзу; $L1, L2$ – первичная и вторичная обмотки соответственно воздушного трансформатора; $R_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки (входное сопротивление электронной системы контактной линзы).

В системе импульсного источника питания инвертор преобразует постоянное напряжение, снимаемое со стабилизатора в переменное гармоническое напряжение высокой частоты, подаваемое на первичную обмотку воздушного трансформатора. Трансформатор гальванической развязки $T1$ для различного варианта исполнения источника может не использоваться. Задача гальванической развязки в этом случае возлагается на воздушный трансформатор $T2$.

Повышение частоты с помощью инвертора необходимо для снижения габаритов воздушного трансформатора, т.к. индуктивность катушки вторичной обмотки очень мала.

При расчете источника питания, в частности, воздушного трансформатора, необходимо определить число витков первичной обмотки трансформатора $T2$, величину и частоту напряжения, подаваемую на первичную обмотку. При этом, амплитуда напряжения на вторичной обмотке должна быть такой, чтобы обеспечит после выпрямления и стабилизации величину постоянного напряжения, которое будет являться напряжением питания электронной схемы контактной линзы.

С учетом внутреннего сопротивления ИИП и активного сопротивления первичной обмотки трансформатора $T2$, схему при работе в режиме холостого хода можно представить в виде, изображенном на рис. 7.

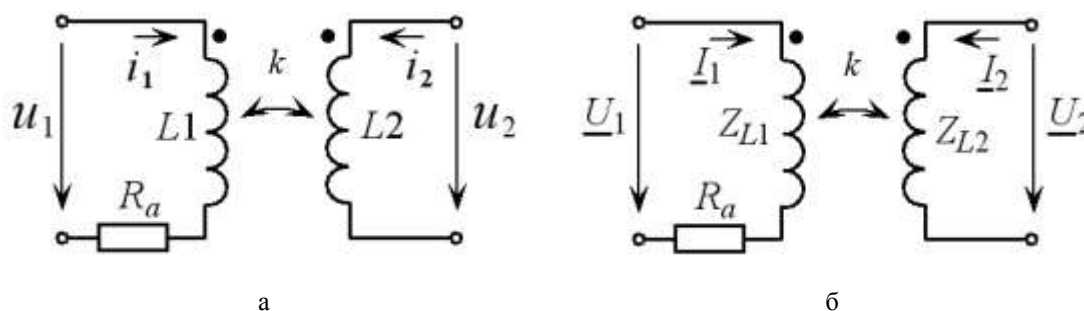


Рис. 7. Схема воздушного трансформатора: а – временная; б – комплексная

Для расчета цепи необходимо составить систему уравнений по законам Кирхгофа в комплексной форме (см. рис. 7, б):

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1 Z_1 - \underline{I}_2 Z_M;$$

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 Z_2 - \underline{I}_1 Z_M;$$

где $Z_1 = R_a + j\omega L_1$ и $Z_{L2} = j\omega L_2$ – комплексные сопротивления первичной и вторичной обмоток соответственно, с учетом активного сопротивления R_a и реактивных $j\omega L_1$ и $j\omega L_2$; ω – частота входного сигнала (напряжения u_1); $Z_M = j\omega M$ – комплексное сопротивление магнитной связи; $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ – магнитная связь катушек L_1, L_2 ; k – коэффициент магнитной связи катушек.

С учетом того, что в режиме холостого хода $\underline{I}_2 = 0$, можно записать:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{R_a + Z_{L1}}.$$

Выражая из уравнений системы напряжение \underline{U}_1 , получим:

$$\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_2 (+j\omega L_1)}{j\omega k \sqrt{L_1 L_2}}.$$

Переходя к действующим значениям комплексных величин, получим:

$$U_1 = \frac{U_2 \sqrt{(R_a)^2 + (\omega L_1)^2}}{\omega k \sqrt{L_1 L_2}}.$$

Таким образом, при расчете воздушного трансформатора бесконтактной системы зарядки аккумулятора необходимо определить оптимальные значения амплитуды напряжения на первичной обмотке, частоту входного напряжения и число витков первичной обмотки (индуктивность первичной обмотки). Напряжение на вторичной обмотке задается из условия формирования питающего напряжения электронной части контактной линзы, индуктивность катушки вторичной обмотки определяется конструкцией приемной антенны (рис. 2), а активное сопротивление R_a определяется выходным сопротивлением устройства, формирующего напряжение u_1 и активным сопротивлением катушки L_1 .

Для определения оптимальных параметров воздушного трансформатора можно воспользоваться трехмерным графиком, построенным в координатах напряжения U_1 , частоты ω и индуктивности L_1 . В качестве примера, проведем расчет параметров воздушного трансформатора для зарядки аккумулятора микропроцессорной контактной линзы, в которой приемная антенна (вторичная обмотка воздушного трансформатора) представляет собой кольцо, выполненное из фольгированной меди [12] (рис. 8).

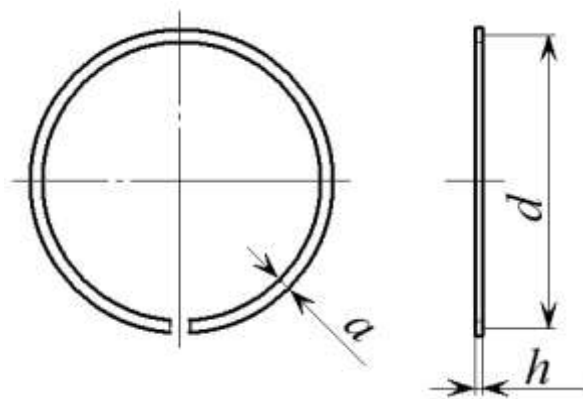


Рис. 8. Конструктивные параметры вторичной обмотки воздушного трансформатора

На рис. 8. изображено: d – диаметр средней линии кольца обмотки; a – ширина кольца; h – толщина кольца обмотки.

Индуктивность катушки (L_2) можно определить по формуле:

$$L_2 = \frac{\left(\frac{d}{10}\right)^2 n^2}{4.5d + 10b},$$

где n – число витков катушки; b – длина намотки. Т.к. число витков $n = 1$, а длина намотки определяется толщиной кольца обмотки ($b = h$), то значение L_2 (в мкГн) будет следующим:

$$L_2 = \frac{\left(\frac{d}{10}\right)^2 n^2}{4.5d + 10b} = \frac{\left(\frac{10}{10}\right)^2 1^2}{4.5 \cdot 10 + 10 \cdot 0.01} = 0.022 \text{ мкГн}$$

или

$$L_2 = 2.2 \cdot 10^{-8} \text{ Гн.}$$

Для построения трехмерного графика $U_1 = f(\omega, L_1)$, где U_1 – напряжение на первичной обмотке индуктивностью L_1 ; ω – частота напряжения, питающего первичную обмотку, воспользуемся формулой, полученной выше:

$$U_1 = \frac{U_2 \sqrt{(R_a)^2 + (\omega L_1)^2}}{\omega k \sqrt{L_1 L_2}},$$

где U_2 – напряжение на зажимах вторичной обмотки ($U_2 = 1.8 \text{ В}$); k – коэффициент магнитной связи обмоток ($k = 0.2$). График представлен на рис. 9.

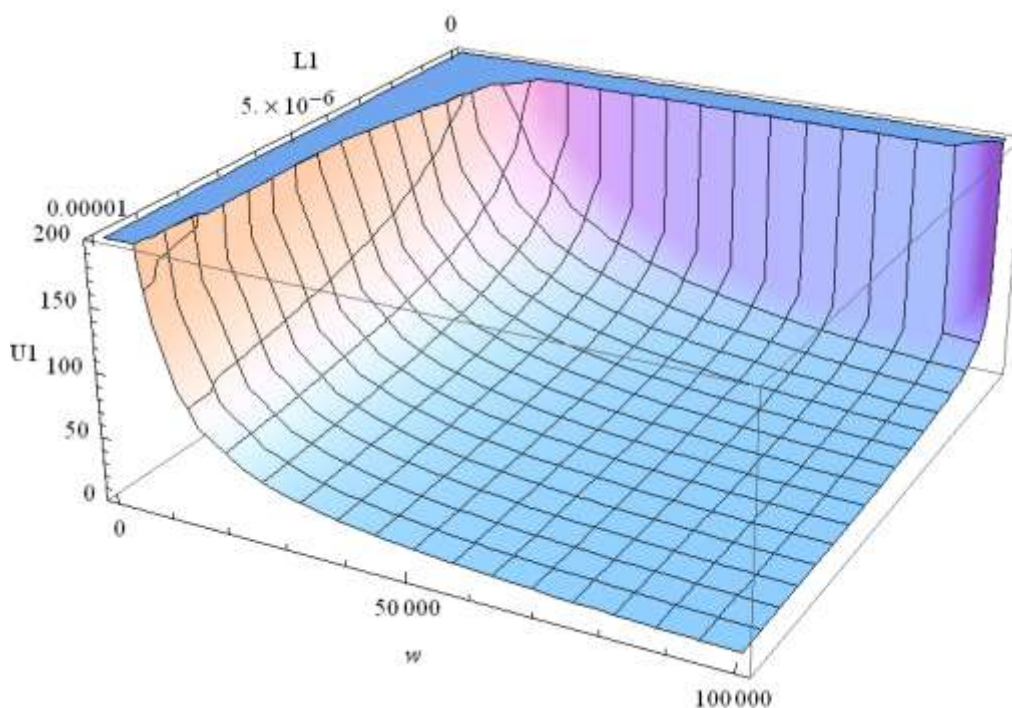


Рис. 8. График зависимости напряжения на первичной обмотке воздушного трансформатора U_1 от частоты входного сигнала ω и индуктивности первичной обмотки L_1

При анализе графика хорошо видно, что снижения амплитуды входного напряжения до приемлемых величин ($U_1 < 20$ В) можно добиться только повышением частоты напряжения на первичной обмотке никак не менее, чем до величины двух десятков кГц, при этом индуктивность, а следовательно, и число витков первичной обмотки влияет на амплитуду в меньшей мере, чем частота.

Выводы

Сегодня контактные линзы перестают быть предметом прямого назначения, т.е. функция коррекции зрения для них уходит на второй план. Возможности современной микроэлектроники превращают эти устройства в средство формирования канала обмена информацией между человеком и микропроцессорным блоком, устанавливаемым, как в самой контактной линзе, так и за пределами ее. Обмен информацией происходит бесконтактным способом, посредством открытого радиоканала различной системы кодировки.

Для обеспечения энергоснабжения электронной системы контактной линзы необходимо использовать возобновляемый источник питания, подзарядка которого должна осуществляться либо в процессе эксплуатации контактной линзы, например, с помощью блока солнечных батарей, либо в то время, когда линзы снимаются и помещаются в специальный раствор, например, на период сна человека.

При использовании аккумуляторной батареи в качестве автономного источника питания, ее заряд необходимо осуществлять бесконтактным способом, например, с исполь-

зованием воздушного трансформатора. Расчет такого трансформатора является первостепенной задачей при разработке схемы и конструкции зарядного устройства.

Исходными данными при расчете являются заданные напряжение на вторичной обмотке – напряжение на сопротивлении нагрузки, т.е. входном сопротивлении электронной схемы контактной линзы, и индуктивность катушки вторичной обмотки. Выходными – напряжение на первичной обмотке, частота этого напряжения и индуктивность катушки первичной обмотки.

В представленной выше работе предложен алгоритм расчета воздушного трансформатора зарядного устройства для аккумулятора микропроцессорной системы контактной линзы, приведен примерный расчет, в результате которого построен трехмерный график, с помощью которого можно оптимизировать характеристики зарядного устройства.

Представленный алгоритм можно применять при расчете параметров воздушных трансформаторов для любых бесконтактных систем зарядки аккумуляторов.

Список литературы

1. Ситников А.В., Масленникова С.И. Аккумуляторные батареи носимых электронных устройств // Радиостроение. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 5. С. 52-72. DOI: [10.24108/rdeng.0517.0000113](https://doi.org/10.24108/rdeng.0517.0000113)
2. Ситников А.В., Ситников И.А. Электротехнические основы источников питания: учебник. М.: КУРС: ИНФРА-М, 2017. 240 с.
3. Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Милаш С.В. Коррекция волнового фронта глаза с помощью контактных линз и их влияние на аккомодационный ответ // Российский офтальмологический журнал. 2016. Т. 9. № 2. С. 102-107. DOI: [10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107](https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107)
4. Басова Г.Г., Гардер Н.В., Липатникова Н.В., Залесский М.Г. Применение мягких контактных линз с лечебной целью // X Съезд офтальмологов России (Москва, 17-19 июня 2015 г.): Сб. науч. материалов. М.: Офтальмология, 2015. С. 51.
5. Glass Help. Режим доступа: <https://www.google.ru/glass/help/> (дата обращения: 09.09.2018).
6. Introducing our smart contact lens project. Режим доступа: <https://googleblog.blogspot.com/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html> (дата обращения: 09.09.2018).
7. Щербо С.Н., Щербо Д.С., Крапин М.Ю. Медицина 5П: молекулярно-диагностические технологии мобильного здравоохранения // Медицинский алфавит. Современная лаборатория. 2017. Т. 4. № 28 (325). С. 5-11.
8. Даниличев В.Ф., Кольцов А.А., Новиков С.А., Павлюченко В.Н. Специальные контактные линзы // Современная оптометрия. 2010. № 4 (34). С. 17-27.

9. Reyhaneh Sariri P., Ali Erfani Karimzadeh Toosi. Обработка лецитином контактных линз для предотвращения адсорбции протеинов // Журнал органической химии. 2003. Т. 39. № 4. С. 506-509.
10. Кадергулова А.М. Кислородная проницаемость и влагосодержание как основные характеристики контактных линз // Фундаментальные проблемы науки: Междунар. науч.-практич. конф. (Уфа, 1 сент. 2016 г.): Сб. ст. Ч. 2. Уфа, 2016. С. 160-161.
11. Ситников А.В. Основы электротехники: учебник. М.: КУРС: ИНФРА-М, 2017. 288 с.
12. Sony, Samsung и Google запатентовали «умные» глазные линзы. Режим доступа: https://styler.rbc.ua/rus/nauka_i_tehnika/sony-samsung-google-zapatentovali-umnye-glaznye-1462448869.html (дата обращения: 09.09.2018).

Calculation of Contactless Battery Charging System for Interactive Contact Lens

A.V. Sitnikov^{1,*}

* sit_irina@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: contact lenses; battery; charger; mutual induction; primary and secondary windings; magnetic interaction

Miniaturization of electronics today has reached such a peak that it became possible to include electronic circuits in the devices which operate in direct contact with the human body, without sense of discomfort. These devices include contact lenses. Contact lenses with an electronic circuit can perform, in addition to the function of vision correction, also diagnostic tasks. In addition, if you place a micro-screen in the area of the pupil of the eye (lens), then you can project visual images on it.

Due to the fact that contact lens has direct contact with the mucous membrane of the eyeball, connecting the lens sensors of electrochemical or electromechanical type to the electronic system allows us to diagnose, for example, diabetes and glaucoma. To process the information from the sensors, a microprocessor system is installed in the body of the contact lens, and the information after pre-processing is transmitted to an external microprocessor unit through a radio channel of various encoding formats. With the help of a microprocessor in the body of the contact lens, it is possible to form an image projected on the screen located in the area of the pupil of the eye (contact lens). The transceiver, antenna, microprocessor unit, and sensor unit are placed in the body of the contact lens in the area of the iris.

When creating an electronic system of interactive contact lenses, a serious problem is to ensure its power supply. As a power source, it is desirable to use a micro-battery to be charged during the period when the lens is not used, for example, during human sleep. At this time, the lens is placed in a special solution for disinfection and chemical treatment of the material from which the lens is made. The charger for such a system must be non-contact, for example, made in the form of an air transformer, the secondary winding of which is located in the body of the contact lens.

The objective of calculating parameters of the air transformer of the battery charger interactive contact lens is to determine the amplitude of the alternating voltage applied to the primary winding of the transformer, the frequency of the alternating voltage and inductance (number and area of turns) of the primary winding of the transformer. The paper proposes an algorithm for

this calculation, and provides an approximate calculation, as a result of which a three-dimensional graph is built, allowing us to optimize the design of the air transformer as the main element that determines the parameters of the pulsed power source for the battery charging system.

The proposed algorithm can be used in calculations of any contactless battery charging systems of autonomous electronic devices.

References

1. Sitnikov A.V., Maslennikova S.I. Rechargeable batteries of portable electronic devices. *Radiostroenie* [Radio Engineering], 2017, no. 5, pp. 52-72.
DOI: [10.24108/r deng.0517.0000113](https://doi.org/10.24108/r deng.0517.0000113) (in Russian)
2. Sitnikov A.V., Sitnikov I.A. *Elektrotekhnicheskie osnovy istochnikov pitaniia* [Electrical fundamentals of power sources]: a textbook. Moscow: Kurs Publ.: Infra-M Publ., 2017. 240 p. (in Russian).
3. Tarutta E.P., Arutyunyan S.G., Milash S.V. The correction of eye wavefront using contact lenses and their impact on the accommodative response. *Rossiiskij oftal'mologicheskij zhurnal* [Russian Ophtalmological J.], 2016, vol. 9, no. 2, pp. 102-107.
DOI: [10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107](https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107) (in Russian)
4. Basova G.G., Garder N.V., Lipatnikova N.V., Zalesskij M.G. Primenenie miagkikh kontaktnykh linz s lechebnoj tsel'yu [The use of soft contact lenses for therapeutic purposes]. 10th s'ezd oftal'mologov Rossii [10th Russian Ophtalmological Congress (Moscow, June 17-19, 2015)]: Proc. Moscow: Ophthalmologia Publ., 2015. P. 51 (in Russian).
5. Glass Help. Available at: <https://www.google.ru/glass/help/>, accessed 09.09.2018.
6. Introducing our smart contact lens project. Available at: <https://googleblog.blogspot.com/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html>, accessed 09.09.2018.
7. Shcherbo S.N., Shcherbo D.S., Kralin M.Yu. 5P Medicine: molecular diagnostic technologies of mobile healthcare. *Meditinskij alfavit. Sovremennaiia laboratoria* [Medical Alphabet. Modern Laboratory], 2017, vol. 4, no. 28 (325), pp. 5-11 (in Russian).
8. Danilichev V.F., Kol'tsov A.A., Novikov S.A., Pavlyuchenko V.N. Especial contact lenses. *Sovremennaiia optometriia* [Modern Optometry], 2010, no. 4(34), pp. 17-27 (in Russian).
9. Reyhaneh Sariri P., Ali Erfani Karimzadeh Toosi. Lecithin treatment to prevent protein adsorption onto contact lenses. *Russian J. of Organic Chemistry*, 2003, vol. 39, no. 4, pp. 471-474. DOI: [10.1023/A:1026013714660](https://doi.org/10.1023/A:1026013714660)
10. Kadergulova A.M. Kislorodnaia pronitsaemost' i vlagosoderzhanie kak osnovnye kharakteristiki kontaktnykh linz [Oxygen permeability and moisture content as the main characteristics of contact lenses]. *Fundamental'nye problemy nauki: Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia* [Fundamental problems of science: Intern. scientific

and practical conf. (Ufa, Russia, Sept. 1st, 2016)]: Proc. Pt. 2. Ufa, 2016. Pp. 160-161 (in Russian).

11. Sitnikov A.V. *Osnovy elektrotekhniki* [Principles of electrotechnics]: a textbook. Moscow: Kurs Publ.: Infra-M Publ., 2017. 288 p. (in Russian).
12. *Sony, Samsung i Google zapatentovali "umnye" glaznye linzy* [Sony, Samsung and Google have patented "smart" eye lenses]. Available at:
https://styler.rbc.ua/rus/nauka_i_tekhnika/sony-samsung-google-zapatentovali-umnye-glaznye-1462448869.html, accessed 09.09.2018 (in Russian).